



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 39 24 635 C 2

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 04 L 5/14
H 04 L 27/34
H 04 B 3/54

②1 Aktenzeichen: P 39 24 635.3-51
②2 Anmeldetag: 26. 7. 89
④3 Offenlegungstag: 31. 1. 91
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 5. 11. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

- ⑦3 Patentinhaber:
Asea Brown Boveri AG, Baden, Aargau, CH
- ⑦4 Vertreter:
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 79761
Waldshut-Tiengen
- ⑦2 Erfinder:
Braun, Walter, Dr.-Ing., Wettingen, CH; Schnetzler,
Claudia, Dipl.-Ing., Baden, CH; Schlegel, Christian,
Dr.-Ing., Baden-Dättwil, CH
- ⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
- | | |
|----|--------------|
| DE | 37 25 293 A1 |
| DE | 35 15 663 A1 |
| US | 47 36 388 |
| US | 38 87 768 |
- DE-Z: 220 V als DFÜ-Medium. In: Funkschau
18/1988,
S.65-67 u.93-95;
- DE-Z: BLAESNER, Wilfried: Datenübertragung auf
dem
220-V-Netz über ASK-Modum. In: elektronik indus-
trie 6, 1987, S. 86,88 u.89;
- DE-Z: N.N.:Datenübertragung im Elektro-Installati-

onsnetz. In: ntz Bd.42, 1989, H.4, S.242;

DE-Z: SCHNAUTZ, H: Datenübertragung auf dem
220 V-
Netz oder auf Zweidrahtleitungen mit dem
Modem-IC
NE 5050. In: Technische Information, Nr.871230,
1989, S.1-14;

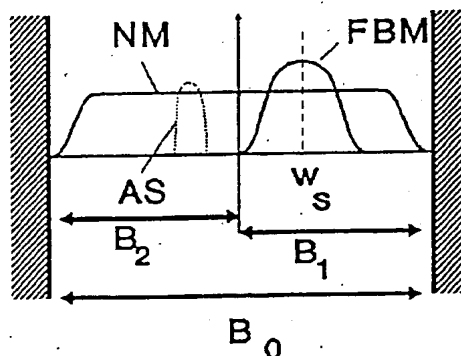
DE-Z: MAGNUS, Christian Semb; OLSEN, Terje:
Tele-
kommunikationsausrüstung für Kraftwerkbetrieb.
In:
Ericsson Review, Nr.1, 1975, S.24-35:
US-Z: HIROSAKI, Botaro: A Maximum Likelihood
Receiver for an Orthogonally Multiplexed QAM Sys-
tem. In: IEEE Journal on Selected Areas in
Communications, Vol. SAC-2, No.5, Sept. 1984
, S.757;

US-Z: FORNEY, G.David, jr.: The Viterb
i Algorithm. In: Proceedings of the IEEE, Vol. 61
, No.3, March 1973, S.268;

US-Z: ACAMPORA, A.S.: Analysis
of Maximum- Likelihood Sequence Estimati
on Performance for Quadrature Amplitude Modul
ation. In: The Bell System Technical Journal
, 1981, Nr.6, S.865;

⑤4 Verfahren zur digitalen Datenübertragung im Vollduplex-Betrieb

- ⑤7 Verfahren zur digitalen Datenübertragung, bei wel-
chem in einem Normalmodus digitale Daten mit einer ge-
gebenen Datenrate über einen Kanal mit gegebener
Bandbreite im Vollduplex-Betrieb zwischen zwei Statio-
nen mit je einem Sender und einem Empfänger übertra-
gen werden, wobei
- a) zum Ermöglichen der gleichzeitigen Übertragung ei-
nes Alarmsignals im genannten Kanal vom Normalmo-
dus in einen Fallbackmodus umgeschaltet wird,
- b) welcher, Fallbackmodus zur digitalen Datenübertra-
gung nur eine erste Hälfte der gegebenen Bandbreite des
Kanals verwendet und eine zweite Hälfte der Bandbreite
frei läßt für die Übertragung des Alarmsignals, und wobei
- c) Fallbackmodus und Normalmodus mit ihrem jeweili-
gen Signalformat so aufeinander abgestimmt sind, daß
der Sender der einen Station ohne Vorwarnung an den
Empfänger der anderen Station zwischen Normal- und
Fallbackmodus hin- und herschalten kann und der Emp-
fänger aufgrund der sich unterscheidenden Signalforma-
te ohne Datenverlust dem Hin- und Herschalten des Sen-
ders folgen kann.



DE 39 24 635 C 2

DE 39 24 635 C 2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur digitalen Datenübertragung, bei welchem in einem Normalmodus digitale Daten mit einer gegebenen Datenrate über einen Kanal mit gegebener Bandbreite im Vollduplex-Betrieb zwischen zwei Stationen mit je einem Sender und einem Empfänger übertragen werden.

Die Erfindung bezieht sich ferner insbesondere auch auf eine Anordnung zur Durchführung eines solchen Verfahrens. Im Hinblick auf eine möglichst effiziente und kontinuierliche Datenverbindung ist die Vollduplex-Kommunikation zwischen zwei Stationen eines PLC-Systems (PLC = Power Line Carrier) besonders vorteilhaft. Vollduplex-Kommunikation ist bekannt und standardisiert in der Norm CCITT Rec. V.32.

Leitergebundene Übertragungssysteme sind sehr oft mit den Nachteilen eines instabilen Kanals konfrontiert. Zudem ist es z. B. bei der Trägerfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen aus Sicherheitsgründen wichtig, daß im Übertragungskanal zusätzlich auch Alarmsignale gesendet und empfangen werden können.

Nun ist es aber schwierig, wenn nicht unmöglich, ein im Kanal übertragenes Alarmsignal zu detektieren, wenn gleichzeitig der Sender der betreffenden Station aktiv ist. Es ist somit klar, daß sich eine Vollduplex-Verbindung in PLC-Systemen nicht ohne weiteres realisieren läßt. Es ist zwar grundsätzlich möglich, immer dann die Datenübertragung zu unterbrechen, wenn die Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit besteht, daß ein Alarmsignal auftreten könnte. Aufgrund der Instabilität des Kanals würde dies aber zu häufigen und nicht gerechtfertigten Unterbrüchen führen. Die Vorteile der Vollduplex-Kommunikation wären unter Umständen sogar in Frage gestellt.

In dem Artikel "Datenübertragung auf einem 220 V-Netz über ASK-Modem", Elektronik Industrie, Heft 6/1987; S. 86-89 von W. Blaesner wird ein Verfahren zur Datenübertragung im Vollduplex-Betrieb über Niederspannungsleitungen angegeben. Netzbedingte Störeinflüsse werden durch Verwendung von ASK-("amplitude shift keying") oder FSK-("frequency shift keying") Modems sowie durch Verdrillung von Zweidrahtleitungen zurückgedrängt. Die Sendeberechtigung einzelner Stationen wird nach dem CSMA/CD- ("Carrier sense Multiple access/collision detection") oder dem "Token passing"-Zugriffsverfahren geregelt.

Das U. S. Pat. No. 4,736,388 hat ein Vollduplex-Modem für Hochspannungsleitungen zum Gegenstand. Eine Verschlechterung und Wiederherstellung der Übertragungsqualität wird vom Empfangsmodem detektiert und dem Sendemodem mitgeteilt, welches seine Übertragungsgeschwindigkeit entsprechend auf einen hohen (Normalmodus) oder niedrigen Wert (Fallbackmodus) einstellt.

In keiner der genannten Schriften ist es vorgesehen, zur zusätzlichen Übermittlung von Alarmsignalen mindestens zeitweilig Übertragungskapazitäten freizuhalten.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur digitalen Datenübertragung der eingangs genannten Art zu schaffen, welches einerseits eine effiziente Kommunikation im Vollduplex-Betrieb auf einem mit starken Instabilitäten behafteten Kanal erlaubt und andererseits die Übertragung und Detektion von zusätzlichen Alarmsignalen zuläßt.

Es ist insbesondere auch Aufgabe der Erfindung, eine Anordnung zur digitalen Datenübertragung über eine elektrische Energieversorgungsleitung anzugeben, umfassend

- a) mindestens zwei für Vollduplex-Betrieb geeignete Stationen und eine als Kanal mit gegebener Bandbreite zwischen den Stationen dienende elektrische Energieversorgungsleitung,
- b) in jeder Station mindestens je einen Sender und einen Empfänger zum Übertragen der digitalen Daten und
- c) je mindestens einen Alarmgeber zum Übertragen von Alarmsignalen und einen Alarmdetektor zum Empfangen der Alarmsignale,

welche Anordnung im Sinn des entsprechenden Verfahrens einerseits eine effiziente Kommunikation im Vollduplex-Betrieb auf einem mit starken Instabilitäten behafteten Kanal erlaubt und andererseits die Übertragung und Detektion von zusätzlichen Alarmsignalen zuläßt.

Erfindungsgemäß besteht die Lösung darin, daß bei einem Verfahren der genannten Art

- a) zum Ermöglichen der Übertragung eines Alarmsignals im genannten Kanal vom Normalmodus in einen Fallbackmodus umgeschaltet wird,
- b) welcher Fallbackmodus zur digitalen Datenübertragung nur eine erste Hälfte der gegebenen Bandbreite des Kanals verwendet und eine zweite Hälfte der Bandbreite frei läßt für die Übertragung des Alarmsignals, und daß
- c) Fallbackmodus und Normalmodus mit ihrem SignalfORMAT so aufeinander abgestimmt sind, daß der Sender der einen Station ohne Vorwarnung an den Empfänger der anderen Station zwischen Normal- und Fallbackmodus hin- und herschalten kann und der Empfänger ohne Datenverlust dem Hin- und Herschalten des Senders folgen kann.

Eine erfindungsgemäße Anordnung der genannten Art zeichnet sich dadurch aus, daß

- d) die Stationen fähig sind, die digitalen Daten sowohl im Vollduplex-Betrieb als auch in einem Halbduplex-Betrieb auszutauschen,
- e) wobei zum Ermöglichen der gleichzeitigen Übertragung des Alarmsignals im genannten Kanal Mittel vorgesehen sind, um von einem Normalmodus im Vollduplex-Betrieb in einen Fallbackmodus im Halbduplex-Betrieb umzuschalten,
- f) wobei der Fallbackmodus zur digitalen Datenübertragung nur eine erste Hälfte der gegebenen Bandbreite des Kanals verwendet und eine zweite Hälfte der Bandbreite frei läßt für die Übertragung des Alarmsignals, und
- g) Fallbackmodus und Normalmodus mit ihrem jeweiligen SignalfORMAT so aufeinander abgestimmt sind, daß der Sender der einen Station ohne Vorwarnung an den Empfänger der anderen Station zwischen Normal- und Fallbackmodus hin- und herschalten kann und der Empfänger aufgrund der sich unterscheidenden SignalfORMate ohne Datenverlust dem Hin- und Herschalten des Senders folgen kann.

Der Kern der Erfindung liegt darin, daß in Fällen, wo ein Alarmsignal nach den Umständen zu erwarten ist (z. B. bei einem plötzlichen starken Ansteigen des Echsignals aufgrund einer Änderung der Impedanz der Versorgungsleitung), der Datenfluß vorübergehend reduziert, nicht aber unterbrochen wird, um im Kanal frequenzmäßig für das allfällig auftretende Alarmsignal Platz zu schaffen. Dabei wird die Reduktion so vorgenommen, daß das im Normalmodus verwendete Vollbandsignal und das im Fallbackmodus verwendete Teilbandsignal mit demselben Empfänger detektiert werden können. Der Empfänger nimmt dazu ständig eine vorläufige Auswertung des Empfangssignals vor, so daß er stets weiß, in welchem Modus die gerade empfangenen Daten gesendet worden sind. Da der Empfänger selbständig dem Betriebsmodus des Senders zu folgen vermag, kann letzterer ohne Vorwarnung und nach eigenen Kriterien von einem Modus in den anderen umschalten.

Das Voll- und das Teilbandsignal sind mit ihrem Signalformat also derart aufeinander abgestimmt, daß sie zumindest mit denselben Mitteln demoduliert werden können und erst bei der Decodierung unterschiedlich behandelt werden müssen. Eine vorläufige Auswertung des demodulierten Empfangssignals ermittelt aufgrund der sich unterscheidenden Signalformate den aktuellen Betriebsmodus und ermöglicht die korrekte Decodierung.

Der Fallbackmodus wird in den meisten Fällen nur kurzzeitig (gleichsam vorsichtshalber) eingeschaltet sein. Im zeitlichen Mittel erfolgt der Datenaustausch nahezu mit der hohen Effizienz des Vollduplex-Betriebs. Das aufwendige Restart-Protokoll wird nur dann durchlaufen, wenn es auch tatsächlich zu einer Unterbrechung (z. B. bei einem Kurzschluß in der Energieversorgungsleitung) gekommen ist.

Der Fallbackmodus stellt im Prinzip eine vorbeugende Maßnahme dar, wenn Gefahr droht. Er ermöglicht zwar die Übertragung eines Alarmsignals, ist aber nicht zwangsläufig damit verbunden. Es ist jedenfalls nicht Zweck dieses Modus, die digitale Datenübertragung trotz tatsächlich aufgetretenem Fehler in der Leitung fortzusetzen.

Für die Realisierung des Fallbackmodus eignen sich im Besonderen zwei Ausführungsformen. Der einen liegt ein QAM-Signal (QAM = Quadrature Amplitude Modulation) und der anderen ein duobinär codiertes PAN-Signal (PAM = Pulse Amplitude Modulation) zugrunde. Beiden ist gemeinsam, daß die Detektion des Fallbackmodus im wesentlichen zusammen mit der Decodierung auf digitaler Ebene (d. h. nach dem Digitalisieren des Empfangssignals) erfolgt. Damit wird die Implementierung des Fallbackmodus (d. h. der benötigten Schaltung) erleichtert.

Die Ausführungsform mit dem QAM-Signal zeichnet sich dadurch aus, daß im Normalmodus die digitale Datenübertragung mit einem QAM-Signal mit n-facher Drehsymmetrie und mit der gegebenen Datenrate erfolgt, und im Fallbackmodus die digitale Datenübertragung mit dem gleichen QAM-Signal, aber mit höchstens der Hälfte der gegebenen Datenrate auf einem Subträger erfolgt, welcher in einer starren Phasenbeziehung zu einem Taktsignal des QAM-Signals des Normalmodus steht, die n-fache Drehsymmetrie aufrechterhält und ein Spektrum aufweist, welches im wesentlichen vollständig in der ersten Hälfte der gegebenen Bandbreite des Kanals liegt.

Im wesentlichen ist die Datenrate im Normalmodus ein ganzzahliges Vielfaches der Datenrate im Fallbackmodus.

Vorzugsweise wird als Signalformat ein 16-QAM-Signal mit vierfacher Drehsymmetrie verwendet. Im Fallbackmodus erfolgt die Datenübertragung mit einem Viertel der gegebenen Datenrate auf einem Subträger, der eine Frequenz entsprechend einem ganzzahligen Vielfachen von einem Viertel einer inversen Symboldauer aufweist.

Zum Erkennen des Fallbackmodus tastet der Empfänger das QAM-Signal entsprechend einer gegebenen Symboldauer ab, wertet das abgetastete QAM-Signal gemäß der Formel

$$P(H_i/H_0) = \sum_{k=1}^{4m} x_k, \quad i = 1, \dots, 4 \quad (I)$$

$$(k \bmod 4) \neq (i \bmod 4)$$

$$x_k = r_k^2 / [2 \cdot (\sigma_n^2 + \sigma_s^2)] - \min_{l=1 \dots 4} (r_k - A_l)^2 / (2 \cdot \sigma_n^2), \quad (II)$$

H_0 = Grundhypothese; bezogen auf den Normalmodus,

H_i = dem Pfad i entsprechende Hypothese,

$r_k = s_k + n_k$, (Abtastwert),

$s_k = 3A, A, -A, -3A$,

$n_k = N(0, \sigma_n^2)$, (additives weißes Gauß'sches Rauschen mit Varianz σ_n^2)

$H_i: s_i = 3A, A, -A, -3A$, für $i = 1, \dots, 4$

$s_j = N(0, \sigma_s^2)$, für $j \neq i$ (Statistik des Sendesignals im Fallbackmodus mit Varianz σ_s^2),

A_l = zulässige Werte für die Symbole,

$A_1 = 3A, A_2 = A, A_3 = -A, A_4 = -3A$,

m = vorgegebene ganze Zahl,

k, i, j, l = Indizes,

\min_l = Minimum von l Werten, \bmod = modulo,

zu vier Hypothesenwahrscheinlichkeiten $P(H_i/H_0)$ aus, vergleicht die Hypothesenwahrscheinlichkeiten mit gegebenen Schwellenwerten und stimmt sich auf denjenigen Modus mit der größten Hypothesenwahrscheinlichkeit ab.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn ein Subträger kleinstmöglicher Frequenz verwendet wird. Außerdem kann der Empfänger in vorteilhafter Weise vereinfacht werden, wenn der Sender nur zu bestimmten, auf einen Datenrahmen abgestimmten Zeitpunkten zwischen Normal- und Fallbackmodus umschaltet, sodaß der Empfänger nur zwei Hypothesenwahrscheinlichkeiten auszuwerten braucht.

Die auf dem PAM-Signal basierende Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, daß die digitale Datenübertragung im Normalmodus mit einem duobinär codierten PAM-Signal mit der gegebenen Datenrate über einen I- und einen Q-Ka-

nal erfolgt und im Fallbackmodus mit demselben PAM-Signal, aber mit höchstens der halben Datenrate erfolgt, indem der Q-Kanal ein bezüglich des I-Kanals hilbertransformiertes Signal überträgt.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Station für Vollduplex-Kommunikation;
- Fig. 2 eine schematische Darstellung der Signalspektren im Normal- und im Fallbackmodus;
- Fig. 3 eine Darstellung des Symbolformats eines 16-QAM-Signals;
- Fig. 4 eine schematische Darstellung der auftretenden Hypothesen;
- Fig. 5 ein Blockschaltbild eines Senders für QAM-Signale im Normal- und Fallbackmodus;
- Fig. 6 ein Blockschaltbild eines Empfängers für QAM-Signale im Normal- und Fallbackmodus;
- Fig. 7 ein Blockschaltbild eines Fallbackmodusdetektors für QAM-Signale;
- Fig. 8 ein Blockschaltbild einer Auswerteschaltung für QAM-Signale zum Ermitteln der Hypothesenwahrscheinlichkeiten;
- Fig. 9 ein Blockschaltbild eines Senders für PAM-Signale im Normal- und im Fallbackmodus;
- Fig. 10 ein Blockschaltbild eines Empfängers für PAM-Signale im Normal- und im Fallbackmodus;
- Fig. 11 ein Blockschaltbild eines Fallbackmodusdetektors für PAM-Signale; und
- Fig. 12 ein Blockschaltbild einer Auswerteschaltung für PAM-Signale zum Ermitteln der Hypothesenwahrscheinlichkeiten;

Die in der Zeichnung verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezeichnungsliste zusammenfassend tabelliert. Grundsätzlich sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von zwei repräsentativen Ausführungsbeispielen erläutert. Eines davon ist ein 16-QAM-System und das andere ist ein 7-PAM-System. Begonnen wird mit denjenigen Aspekten der Erfindung, die beiden Beispielen gemeinsam sind.

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild einer Vollduplex-Station. Sie umfaßt einen Sender 3, einen Empfänger 2, eine Gabelschaltung 3, einen Echokompensator 4, einen Alarmgeber 5 und einen Alarmsdetektor 6. Sender 1 und Empfänger 2 sind mittels der Gabelschaltung 3 an einen Kanal 7, welcher vorzugsweise durch eine elektrische Versorgungsleitung gebildet wird, angeschlossen und stehen so in Verbindung mit einer gleichartigen, zweiten Station. Der Echokompensator 4 transformiert ein Sendesignal des Senders 1 in bekannter Weise derart, daß nach Subtraktion des transformierten Sendesignals von einem Eingangssignal des Empfängers 2 im wesentlichen das echofreie Sendesignal der zweiten Station übrig bleibt.

Der Alarmgeber 5 injiziert ein Alarmsignal (z. B. ein Tonsignal) senderseitig der Gabelschaltung 3 und der Alarmsdetektor 6 extrahiert empfängerseitig der Gabelschaltung 3 ein Alarmsignal einer fremden Station.

Die Echokompensation ist bekanntlich sehr empfindlich auf plötzliche Änderungen der Impedanz des Kanals 7. Solche Änderungen treten in Versorgungsleitungen gelegentlich auf und können Indizien sein für drohende Gefahr. In solchen Fällen muß die Station darauf vorbereitet sein, ein allfällig auftretendes Alarmsignal detektieren zu können.

Gemäß der Erfindung hat die Station deshalb die Möglichkeit, von einem Normalmodus in einen sogenannten Fallbackmodus umzuschalten. Grob gesagt zeichnet sich der Fallbackmodus dadurch aus, daß ein Teil des Kanals frequenzmäßig frei gelassen wird, um die Detektion des genannten Alarmsignals zu ermöglichen. Im Fallbackmodus erfolgt die Datenübertragung somit im Halbduplex-Betrieb. Der Echokompensator wird ausgeschaltet.

Das Umschalten erfolgt nach vorgegebenen Kriterien. Eines davon könnte z. B. ein übermäßiges Ansteigen des Echos des Sendesignals sein. Ein weiteres könnte das Umschalten der anderen, sendenden Station in den Fallbackmodus sein. Die Wahl der Kriterien hängt in der Praxis stark von den Umständen und Eigenschaften des Kanals, insbesondere der Versorgungsleitung und der angeschlossenen Energie- und Schaltanlagen ab. An dieser Stelle ist die Wahl der Kriterien von untergeordneter Bedeutung. Wichtig ist allein, daß für eine Station bestimmte Kriterien vorgegeben sind, nach welchen sie von einem Modus in den anderen schaltet.

Anhand der Fig. 2 soll das Prinzip der Erfindung veranschaulicht werden. Auf der Abszisse ist ein dem Kanal zugeordneter Frequenzabschnitt aufgezeichnet. Es handelt sich dabei um eine vorgegebene Bandbreite B_0 . In diesem vordefinierten Frequenzbereich spielt sich sowohl der digitale Datenaustausch als auch die Übertragung des Alarmsignals ab.

Unter den gewöhnlich herrschenden Bedingungen, d. h. wenn der Kanal relativ stabil ist, wird die ganze Bandbreite B_0 für die digitale Datenübertragung im Vollduplex-Betrieb ausgenutzt. Dies veranschaulicht die Kurve NM, welche das Signalspektrum im Normalmodus darstellt.

Im Fallbackmodus FBM wird ein Signal der Subträgerfrequenz w_s übertragen, welches ein Spektrum hat, das sich im wesentlichen auf eine erste Hälfte B_1 der gegebenen Bandbreite beschränkt. Eine zweite Hälfte B_2 steht damit frei für die Übertragung eines Alarmsignals AS.

Der beschriebene Sachverhalt wird durch die Kurve FBM veranschaulicht, welche das Signalspektrum im Fallbackmodus darstellt.

Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung ist die Art und Weise der Codierung resp. Decodierung zum Erreichen der soeben erläuterten Effekte.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird als Signalformat dasjenige eines an sich bekannten 16-QAM-Signals verwendet. Dieses wird im Normalmodus mit einer gegebenen Bitrate von beispielsweise 19,2 kBit/s übertragen. Im Fallbackmodus wird dann die Bitrate auf ein Viertel reduziert, im vorliegenden Beispiel auf 4,8 kBit/s. Außerdem wird ein Subträger verwendet, welcher

1. in einer starren Phasenbeziehung zu einem Taktsignal des ursprünglichen QAM-Signals im Normalmodus steht,
2. die Drehsymmetrie des ursprünglichen QAM-Signals aufrechterhält und
3. so in der ersten Hälfte B_1 der gegebenen Bandbreite angesiedelt ist, daß sich das Signalspektrum im Fallbackmodus im wesentlichen auf die genannte Hälfte B_1 beschränkt.

Im vorliegenden Beispiel kommen als Subträger nur solche in Frage, die als Frequenz 300 Hz oder ein ganzzahliges Vielfaches davon aufweisen und zudem die unter 3. genannte Bedingung erfüllen. Es zeigt sich, daß der kleinste Subträger unter den gegebenen Umständen bei 1,2 kHz liegt. Er ist zugleich der am meisten bevorzugte. Der nächst höhere liegt bei 1,5 kHz.

Anhand der Fig. 3 läßt sich die erfindungsgemäße Relation zwischen den beiden QAM-Signalen (Normalmodus – 5
Fallbackmodus) anschaulich zeigen. Das Diagramm wird aufgespannt durch eine I-Achse und eine Q-Achse. Die eingezeichneten 16 Punkte stellen je ein Symbol dar. Die zulässigen Symbolwerte auf der I- und der Q-Achse sind jeweils gegeben durch die Werte $3A$, A , $-A$, $-3A$. Eine Rotation um 90° führt das gezeigte SignalfORMAT in sich selbst über, d. h. es liegt eine vierfache Drehsymmetrie vor. Auf diese Drehsymmetrie ist der Subträger abgestimmt. Er hat unter den Bedingungen 1. bis 3. allein die Wirkung, daß sich das SignalfORMAT im Fallbackmodus in sich selbst dreht. Darin liegt der Grund, daß der Empfänger ohne Änderung von Parametern sowohl das QAM-Signal des Normalmodus als auch dasjenige des Fallbackmodus demodulieren kann. 10

Ein Taktsignal definiert die Zeitpunkte, zu welchen das QAM-Signal durch einen der gezeigten Punkte geht. Die Periode des Taktsignals entspricht einer Symboldauer T .

Im Normalmodus werden die Symbole mit einer bestimmten Symboldauer T übertragen. Die Reduktion der Datenrate 15
auf ein Viertel hat zur Folge, daß im Fallbackmodus die Symbole effektiv eine viermal höhere Symboldauer von $4T$ aufweisen. Wenn nun im Empfänger das eintreffende QAM-Signal stets mit der einfachen Symboldauer T abgetastet wird, dann stellt im Fallbackmodus nur noch jeder vierte Abtastwert ein Symbol dar. Die übrigen drei Abtastwerte stellen Übergangszustände dar, die für die Decodierung bedeutungslos sind. Der erfindungsgemäße Empfänger ist aber fähig, die Übergangszustände (und damit den Fallbackmodus) zu erkennen und die bedeutungslosen Abtastwerte vor der Decodierung zu eliminieren. 20

Fig. 4 veranschaulicht den beschriebenen Sachverhalt. Im Prinzip müssen im Empfänger fünf Fälle, sogenannte Hypothesen, in Betracht gezogen werden. Eine erste, sogenannte Grundhypothese H_0 bezieht sich auf den Normalmodus. Sie entspricht der Annahme, daß alle Abtastwerte einem gültigen Symbol entsprechen. Die übrigen vier Fälle, Hypothesen H_1 , H_2 , H_3 , H_4 , beziehen sich alle auf den Fallbackmodus, bei welchem nur jeder vierte Abtastwert ein Symbol darstellt. Mit dem Index wird dabei auf den Abtastwert hingewiesen, der ein Symbol darstellt. Demzufolge entspricht z. B. die Hypothese H_1 der Annahme, daß der erste der vier aufeinanderfolgenden Abtastwerte ein Symbol darstellt, d. h. $k = 1$, $k = 5$, $k = 9$. 25

Im folgenden wird das Verfahren zur digitalen Datenübertragung anhand einer beispielhaften Sender/Empfänger-Schaltung ausführlich beschrieben. 30

Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild eines Senders 1 für QAM-Signale. Eine Datenquelle 8 (z. B. ein Multiplexer) liefert digitale Daten an einen Coder 9. Dieser erzeugt gemäß einem gegebenen, erfindungsgemäßen SignalfORMAT sowohl für einen I-als auch einen Q-Kanal Symbole im Sinn der an sich bekannten Quadratur-Amplituden-Modulation. Ein nachfolgender Umtaster 10 gibt im Normalmodus die Symbole des Coders 9 mit einer Symboldauer T an ein Filter 11a resp. 11b weiter. Den genannten Filtern 11a, 11b ist ein Modulator 12 nachgeschaltet, welcher I- und Q-Kanal in bekannter Weise einer Trägerfrequenz ω_0 aufmoduliert. 35

Neben der Trägerfrequenz ω_0 kann der Modulator 12 auch einen Subträger ω_s erzeugen, welcher den bereits genannten Bedingungen 1. bis 3. genügt. Wenn nun die digitale Datenübertragung im Fallbackmodus erfolgen soll, dann liefert einerseits der Umtaster 10 die Symbole nur noch mit einer vierfachen Symboldauer $4T$ und schaltet andererseits der Modulator 12 auf den Subträger ω_s um. 40

Eine hier nicht näher beschriebene (und in den Figuren nicht gezeigte) Kontrolleinheit der Station überwacht und steuert den Betriebsmodus des Senders. Insbesondere kontrolliert sie das Hin- und Herschalten zwischen Normal- und Fallbackmodus im Sinn der weiter oben erläuterten, vorgegebenen Kriterien.

Fig. 6 zeigt einen Empfänger 2 zum Detektieren von QAM-Signalen. Ein Empfangssignal wird mit einem Demodulator 13 demoduliert und in I- und Q-Kanal zerlegt. Der Demodulation wird dabei stets die Trägerfrequenz ω_0 zugrunde gelegt, unabhängig vom Modus des Empfangssignals. Getrennt nach I- und Q-Kanal folgen nacheinander ein Filter 11c resp. 11d, ein Signaltaster 15 und ein Signalaufbereiter 16a. Ein Decoder 17 faßt I- und Q-Kanal zusammen und gibt die mit der Decodierung zurückgewonnenen digitalen Daten an eine Datensinke 18 (z. B. ein Demultiplexer) ab. 45

Wie bereits gesagt arbeitet der Demodulator 13 stets mit der Trägerfrequenz ω_0 . Analoges gilt für den Signaltaster 15, welcher unabhängig vom Modus des Empfangssignals Abtastwerte r_k im zeitlichen Abstand einer einfachen Symboldauer T (also mit einer Rate $1/T$) erzeugt. 50

Die Detektion des aktiven Betriebsmodus und die Elimination der für die Decodierung unbrauchbaren Abtastwerte findet im Signalaufbereiter 16a statt. Dieser umfaßt für jeden Kanal ein Schieberegister 19a, 19b und einen gemeinsamen Fallbackmodusdetektor 20a.

Die Schieberegister 19a und 19b sind mit Mitteln ausgestattet, welche ein selektives Weiterleiten einzelner Abtastwerte an den Decoder 17 erlauben. Die Information darüber, welche Abtastwerte weiterzuleiten sind, erhalten die Schieberegister 19a und 19b vom Fallbackmodusdetektor 20a. Es vermag auf jeden Fall mindestens vier Abtastwerte (oder ein ganzzahliges Vielfaches davon) zwischenspeichern. 55

Im folgenden wird nun erläutert, wie die Auswertung der Abtastwerte im Fallbackmodusdetektor 20a vor sich geht und wie der Betriebsmodus korrekt detektiert werden kann. 60

Fig. 7 zeigt ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Fallbackmodusdetektors 20a. Am Eingang liegen die Abtastwerte r_k (entweder des I- oder des Q-Kanals) des Signaltasters 15 mit einer Rate $1/T$ an. Am Ausgang wird ein Signal abgegeben, welches die Hypothese H_i mit der größten Wahrscheinlichkeit $P(H_i/H_0)$ angibt. Entsprechend diesem Signal gibt das Schieberegister 19a die als Symbole identifizierten Abtastwerte weiter. Die Auswertung der Wahrscheinlichkeiten $P(H_i/H_0)$, $i = 1, \dots, 4$, erfolgt in vier gleichartigen, parallel geschalteten Pfaden $i = 1, \dots, i = 4$, welche in einem Maximalwertdetektor 23 zusammenlaufen. Jeder der vier Pfade $i = 1, \dots, i = 4$ weist hintereinander einen Diskriminator 21a, \dots , 21d und einen Wahrscheinlichkeitsdetektor 22a, \dots , 22d auf und erzeugt einen Wert für die Wahrscheinlichkeit $P(H_i/H_0)$. Dabei bezeichnet die Wahrscheinlichkeit $P(H_i/H_0)$ einen Kennwert, der die betreffende Hypothese H_i ge- 65

genüber der Grundhypothese H_0 wahrscheinlichkeitsmäßig abwägen läßt. Der Maximalwertdetektor **23** entscheidet, welche der Hypothesen am ehesten zutrifft, indem er die vier Werte für die Wahrscheinlichkeit $P(H_i/H_0)$ mit vorgegebenen Schwellen vergleicht.

Die vier Diskriminatoren **21a**, ..., **21d** blenden aus einer bestimmten Gruppe von vier Abtastwerten jeweils einen vordefinierten aus. Jeder Diskriminator **21a**, ..., **21d** blendet dabei denjenigen Abtastwert aus, der aufgrund der (dem Pfad i) entsprechenden Hypothese H_i ein Symbol darstellt.

Beispielsweise eliminiert der erste Diskriminator **21a** jeweils den ersten Abtastwert aus der Gruppe, der zweite Diskriminator **21b** den zweiten usw. In der **Fig. 4** ist die soeben beschriebene Wirkung dadurch veranschaulicht, daß jeweils der Abtastwert im schraffierten Feld eliminiert wird.

Aus den verbleibenden drei Abtastwerten (resp. einem ganzzahligen Vielfachen davon) ermitteln die vier Wahrscheinlichkeitsdetektoren **22a**, ..., **22d** in analoger Weise den Kennwert $P(H_i/H_0)$ aus den aufeinanderfolgenden Abtastwerten r_k gemäß folgender Formel:

$$P(H_i/H_0) = \sum_{k=1}^{4m} x_k, \quad i = 1, \dots, 4 \quad (I)$$

$$(k \bmod 4) \neq (i \bmod 4)$$

$$x_k = r_k^2 / [2 \cdot (\sigma_n^2 + \sigma_s^2)] - \min_{l=1 \dots 4} (r_k - A_l)^2 / (2 \cdot \sigma_n^2), \quad (II)$$

H_0 = Grundhypothese, bezogen auf den Normalmodus,

H_i = dem Pfad i entsprechende Hypothese,

$r_k = s_k + n_k$, (Abtastwert),

$s_k = 3A, A, -A, -3A$,

$n_k = N(0, \sigma_n^2)$, (additives weißes Gauß'sches Rauschen mit Varianz σ_n^2)

$H_i: s_i = 3A, A, -A, -3A$, für $i = 1, \dots, 4$

$s_j = N(0, \sigma_s^2)$, für $j \neq i$ (Statistik des Sendesignals im Fallbackmodus mit Varianz σ_s^2)

A_l = zulässige Werte für die Symbole,

$A_1 = 3A, A_2 = A, A_3 = -A, A_4 = -3A$,

m = vorgegebene ganze Zahl,

k, i, j, l = Indizes,

\min_l = Minimum von l Werten, \bmod = modulo,

(Die Hypothese H_i besagt also, daß nur zum Zeitpunkt i ein sinnvolles Sendesignal vorliegt und daß zu einem anderen Zeitpunkt $j \neq i$ nur weißes Rauschen zu sehen ist. Die Statistik $N(0, \sigma_s^2)$, $j \neq i$, des Sendesignals s_k im Fallbackmodus kann z. B. durch Messung ermittelt werden, ebenso diejenige des additiven weißen Gauß'schen Rauschens des Kanals **7**.)

Fig. 8 zeigt beispielhaft ein Blockschaltbild des Wahrscheinlichkeitsdetektors **22a**, der die in den Formeln (I) und (II) festgelegte Auswertung durchführt. Am Eingang liegen diejenigen Abtastwerte r_k an, die der Diskriminator **21a** nicht eliminiert hat.

Jeder Abtastwert r_k wird mit allen zulässigen Symbolwerten A_1, \dots, A_4 verglichen, wobei vier Fehlerwerte erzeugt werden. Ein Minimalwertdetektor **24** wählt den betragsmäßig kleinsten Fehlerwert aus und gibt ihn an einen Quadrierer **25** weiter. Der quadrierte Fehlerwert wird sodann mit dem Faktor $g_0 = -1/(2\sigma_n^2)$ gewichtet. Parallel dazu wird der entsprechende Abtastwert r_k in einem zweiten Quadrierer **26** quadriert und mit einem Faktor $g_1 = -1/[2(\sigma_n^2 + \sigma_s^2)]$ gewichtet.

Aus den beiden gewichteten Größen wird ein Differenzwert x_k gebildet. Ein Summierer **27** addiert über die drei Differenzwerte x_k (oder einem ganzzahligen Vielfachen davon), die aus der entsprechenden Gruppe von vier Abtastwerten (resp. einem ganzzahligen Vielfachen davon) hervorgegangen sind. Nach einem Zeitintervall entsprechend der vierfachen Symboldauer $4T$ (resp. einem ganzzahligen Vielfachen davon) stehen somit parallel die vier Kennwerte (nämlich in jedem Pfad $i = 1, \dots, i = 4$ einer) für die Wahrscheinlichkeit $P(H_i/H_0)$ zur Verfügung.

Die Auswertung gemäß **Fig. 7** und **8** basiert auf den Abtastwerten eines der beiden Kanäle I resp. Q . Zur Verbesserung der Fehlalarmrate kann diese Auswertung auch parallel für I - und Q -Kanal erfolgen. In diesem Fall werden sowohl die Abtastwerte des I -Kanals als auch diejenigen des Q -Kanals wie in **Fig. 7** dargestellt ausgewertet. Die Ausgänge der parallelen Fallbackmodusdetektoren müssen dann zusätzlich noch verglichen und bei Unterschieden eventuell noch korrigiert werden.

Damit ist der Empfänger und die erfindungsgemäße digitale Datenübertragung für QAM-Signale vollständig beschrieben. Es ist klar, daß die Erfindung nach wenigen, offensichtlichen Modifikationen auch für andere, ähnliche Signalfomate verwendet werden kann. Dazu gehören neben den QAM-Signalen mit 4-facher Drehsymmetrie (z. B. 32-QAM, 64-QAM, 4-QAM usw.) insbesondere auch solche mit 6-facher Drehsymmetrie. Der Subträger ist dann so anzusetzen, daß er bezogen auf den Normalmodus eine Rotation des Signalfomats um 60° resp. um ein ganzzahliges Vielfaches davon bewirkt.

Im Bestreben, stets mit der größtmöglichen Datenrate zu arbeiten, wurde diese beim beschriebenen Ausführungsbeispiel im Fallbackmodus nur auf ein Viertel reduziert.

Selbstverständlich kann die Datenrate aber auch stärker reduziert werden, z. B. auf ein Achtel oder noch weniger. Allerdings erhöht sich dann die Anzahl der zu testenden Hypothesen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung schaltet der Sender nur zu bestimmten, jeweils auf einen vorgegebenen Datenrahmen abgestimmten Zeitpunkten vom einen Modus in den anderen um. Dadurch vereinfacht sich die Auswertung im Fallbackmodusdetektor. Dies soll anhand der **Fig. 4** und **7** erläutert werden.

Fig. 4 zeigt drei Gruppen ($m = 3$) zu vier Abtastwerten. Wenn nun beispielsweise ein Datenrahmen einer Länge von 12 Symbolen, d. h. einer zwölffachen Symboldauer $12T$, festgelegt wird und ein Umschalten nur zwischen zwei Datenrahmen zugelassen wird, dann genügt es zu wissen, in welchem Modus ein bestimmter Datenrahmen übermittelt worden ist, um im Empfänger die relevanten Abtastwerte aussondern zu können. Es ist dann nämlich vorbestimmt, welcher der vier Abtastwerte im Fallbackmodus ein Symbol darstellt. Neben der Grundhypothese H_0 ist somit nur eine weitere Hypothese, z. B. H_4 , auszuwerten.

Damit ist klar, wie sich der Fallbackmodusdetektor von Fig. 7 vereinfacht: Anstelle der vier parallelen Pfade $i = 1, \dots, i = 4$ tritt ein einziger, z. B. der Pfad $i = 4$. Der Maximalwertdetektor ist in diesem Fall im wesentlichen ein Schwellenwertdetektor.

Wenn die Datenrate im Normalmodus viermal so groß wie diejenige im Fallbackmodus ist, dann muß der Datenrahmen mindestens eine Länge entsprechend einem vierfachen der Symboldauer aufweisen. Allgemein gesagt führt ein Verhältnis der Datenraten von Normalmodus zu Fallbackmodus von $p : 1$ zu einer Länge entsprechend einem ganzzahligen Vielfachen der p -fachen Symboldauer pT .

Im ausführlich diskutierten Beispiel wurde für den Subträger w_s die kleinstmögliche Frequenz von 1,2 kHz verwendet. Es liegt aber durchaus ebenso im Rahmen der Erfindung, den Subträger w_s auf eine höhere Frequenz zu setzen. Dadurch erhöht sich zwar die Empfindlichkeit des Empfängers auf einen allfälligen Phasenjitter, ansonsten bleiben aber die Vorteile der Erfindung bestehen.

Wie bereits mehrfach angedeutet eignet sich die Erfindung nicht nur für QAM-Signale, sondern auch für PAM-Signale. Dieses zweite Ausführungskonzept wird im folgenden anhand der Fig. 9–12 beschrieben.

Der springende Punkt bei der Übertragung der digitalen Daten mittels PAM-Signale besteht darin, daß ein DSB-Signal (DSB Double Side Band) im Fallbackmodus in ein kompatibles SSB-Signal (SSB = Single Side Band) umgewandelt wird. Dies wird dadurch erreicht, daß im Fallbackmodus der Q-Kanal nicht mehr ein unabhängiges Signal, sondern im wesentlichen das hilberttransformierte Signal des I-Kanals überträgt. Dies bedeutet, daß die Datenrate auf die Hälfte reduziert wird.

Fig. 9 zeigt einen Sender 1 für die Datenübertragung mittels eines PAM-Signals. Eine Datenquelle 8 liefert digitale Daten mit einer vorgegebenen Datenrate von z. B. 19,2 kBit/s an einen Coder 28. Dieser erzeugt gemäß einem gegebenen, erfindungsgemäßen Signalformat sowohl für einen I- als auch einen Q-Kanal Symbole im Sinn der an sich bekannten Puls-Amplituden-Modulation. Die Codierung erfolgt in zwei Stufen. Zuerst werden die digitalen Daten in ein n -PAM-Signal u_k , z. B. ein 4-PAM-Signal, umgewandelt und dann wird das n -PAM-Signal u_k duobinär codiert zu einem $(2n - 1)$ -PAM-Signal s_k , z. B. einem 7-PAM-Signal:

$$s_k = -(u_k - u_{k-1})$$

Wenn z. B. u_k ein 4-PAM-Signal mit den Zuständen $3A, A, -A, -3A$ ist, dann hat das 7-PAM-Signal s_k die Zustände $6A, 4A, 2A, 0, -2A, -4A, -6A$.

Die duobinär codierten Symbole des I- und des Q-Kanals werden von einem Umtaster 30 entsprechend einer Symboldauer T , d. h. mit einer Rate $1/T$, umgetastet, dann in je einem Filter 11e, 11f geformt und dann in einem Modulator 31 im Sinn der Puls-Amplituden-Modulation einer Trägerfrequenz ω aufmoduliert. Die modulierte Trägerfrequenz wird über den Kanal 7 (Fig. 1) zu einem Empfänger einer anderen Station übertragen.

Die bis dahin beschriebenen Teile des Senders arbeiten im Normalmodus. Für den Betrieb im Fallbackmodus werden zusätzlich ein Transformationsfilter 29 und ein Schalter 32 benötigt. Der Schalter 32 befindet sich im Q-Kanal zwischen Coder 28 und Umtaster 30. Das Transformationsfilter 29 ist hinter dem Coder 28 an den I-Kanal angeschlossen und erzeugt ein bezüglich des I-Kanals hilberttransformiertes Signal, welches dem Schalter 32 zugeführt wird. Im Normalmodus gibt der Schalter 32 das Signal des Q-Kanals des Coders 28 an den Umtaster 30 weiter. Im Fallbackmodus dagegen gibt er das hilberttransformierte Signal des Transformationsfilters 29 als Q-Kanal an den Umtaster 30 weiter.

Eine nicht näher beschriebene (und in den Figuren nicht gezeigte) Kontrolleinheit überwacht und steuert den Sender 1. Insbesondere kontrolliert sie das Hin- und Herschalten (Schalter 32) zwischen Normal- und Fallbackmodus im Sinn der weiter oben erläuterten, vorgegebenen Kriterien.

Fig. 10 zeigt ein Blockschaltbild eines Empfängers 2 für PAM-Signale. Ein Empfangssignal aus dem Kanal 7 (Fig. 1) wird zuerst im Demodulator 33 demoduliert und dabei in I- und Q-Kanal zerlegt. I- und Q-Kanal werden danach in je einem Filter 11g, 11h gefiltert und in einem Signaltaster 34 mit der Rate $1/T$ (entsprechend der inversen Symboldauer T) abgetastet. Die resultierenden Abtastwerte r_k werden in einem Signalaufbereiter 16b ausgewertet. Dieser gibt die für die Decodierung relevanten Abtastwerte an einen Decoder 37 weiter, wo die digitalen Daten zurückgewonnen und an eine Datensenke 18 abgegeben werden.

Der Signalaufbereiter 16b umfaßt für I- und Q-Kanal je ein verzögerndes Schieberegister 36a, 36b und für den Q-Kanal einen Fallbackmodusdetektor 20c und einen Schalter 35. Der Fallbackmodusdetektor 20c stellt fest, ob das Empfangssignal im Fallbackmodus übertragen worden ist und steuert den Schalter 35 so, daß der Q-Kanal ausgeblendet wird, falls er das hilberttransformierte Signal des I-Kanals beinhaltet, da dieses für den Detektor ein weißes Rauschen darstellt. Die von den Schieberegistern 36a, 36b herbeigeführte Verzögerung ist auf die vom Fallbackmodusdetektor 20c benötigte Verarbeitungszeit abgestimmt.

Fig. 11 zeigt den Fallbackmodusdetektor 20c. Er umfaßt einen Wahrscheinlichkeitsdetektor 38 gefolgt von einem Schwellenwertdetektor 39. Der Wahrscheinlichkeitsdetektor 38 wertet die Hypothese H_1 , die der Annahme entspricht, daß der Fallbackmodus aktiv ist, gegen die Grundhypothese H_0 aus, die der Annahme des Normalmodus entspricht. Der Schwellenwertdetektor 39 entscheidet, welche der beiden Hypothesen mit größerer Wahrscheinlichkeit zutrifft und steuert den Schalter 35 entsprechend an.

Die Auswertung der Abtastwerte r_k im Wahrscheinlichkeits-Detektor 38 erfolgt gemäß folgender Formel:

$$P(H_1/H_0) = \sum_{k=1}^m x_k \quad (III)$$

$$(k \bmod 4) \neq (i \bmod 4)$$

$$x_k = r_k^2 / [2 \cdot (\sigma_n^2 + \sigma_s^2)] - \min_{l=1..7} (r_k - A_l)^2 / (2 \cdot \sigma_n^2), \quad (IV)$$

H_0 = Grundhypothese, bezogen auf den Normalmodus,

H_1 = dem Pfad 1 entsprechende Hypothese,

$r_k = s_k + n_k$, (Abtastwert),

$s_k = 6A, 4A, 2A, 0, -2A, -4A, -6A$,

$n_k = N(0, \sigma_n^2)$, (additives weißes Gauß'sches Rauschen mit Varianz σ_n^2)

$H_1: s_1 \approx N(0, \sigma_s^2)$, (Statistik des Sendesignals im Fallbackmodus mit Varianz σ_s^2),

A_l = zulässige Werte für die Symbole,

$A_1 = 6A, A_2 = 4A, A_3 = 2A, A_4 = 0$,

$A_5 = -2A, A_6 = -4A, A_7 = -6A$,

m = vorgegebene ganze Zahl,

k, l = Indizes,

\min_l = Minimum von l Werten, \bmod = modulo,

(Die Hypothese H_1 besagt also, daß der Q-Kanal die hilberttransformierten Daten des I-Kanals überträgt. Die Statistik $N(0, \sigma_s^2)$ des Sendesignals s_k im Fallbackmodus kann z. B. durch Messung ermittelt werden, ebenso diejenige des additiven weißen Gauß'schen Rauschens des Kanals 7.)

Fig. 12 zeigt beispielhaft ein Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Wahrscheinlichkeitsdetektors 38 für PAM-Signale. Am Eingang treten die Abtastwerte r_k des Signaltasters 34 mit der Symboldauer T auf.

Jeder Abtastwert r_k wird mit allen zulässigen Symbolwerten A_1, \dots, A_7 verglichen, wobei sieben Fehlerwerte erzeugt werden. Ein Minimalwertdetektor 40 wählt den betragsmäßig kleinsten Fehlerwert aus und gibt ihn an einen Quadrierer 41 weiter. Der quadrierte Fehlerwert wird sodann mit dem Faktor $g_0 = -1/(2\sigma_n^2)$ gewichtet.

Parallel dazu wird der entsprechende Abtastwert r_k in einem zweiten Quadrierer 42 quadriert und mit einem Faktor $g_1 = -1/[2(\sigma_n^2 + \sigma_s^2)]$ gewichtet.

Aus den beiden gewichteten Größen wird ein Differenzwert x_k gebildet. Ein Summierer 43 addiert über eine gegebene Zahl m von Differenzwerten x_k . Nach einem Zeitintervall entsprechend der m -fachen Symboldauer mT steht somit ein Kennwert für die Wahrscheinlichkeit $P(H_1/H_0)$ zur Verfügung.

Damit ist auch die Ausführungsform für PAM-Signale vollständig beschrieben. Auch hier sind im Rahmen der Erfindung mehrere Modifikationen möglich. Insbesondere eignen sich duobinär codierte $(2n-1)$ -PAM-Signale mit beliebigem n .

Die Umwandlung des I-Signals in das hilberttransformierte Signal erfolgt im Transformationsfilter 29. In der Praxis ist das Transformationsfilter 29 ein FIR-Filter (FIR = Finite Impulse Response). Es zeigt sich, daß dabei schon mit einer Filterlänge von ± 6 Symbolen (also mit 13 Stützstellen) hinreichend gute Ergebnisse erzielt werden können.

Es versteht sich, daß I- und Q-Kanal im Rahmen der Erfindung funktionsmäßig vertauscht werden können. Im Sender wird dann der Q-Kanal als Eingang auf das Transformationsfilter gegeben und das hilberttransformierte Signal in den I-Kanal eingespeist. Entsprechend ist der Fallbackmodusdetektor im Empfänger im I-Kanal statt im Q-Kanal einzufügen.

Aus den bereits genannten Gründen (Abhängigkeit des Q-Kanals vom I-Kanal) ist die Datenrate im Fallbackmodus nur noch halb so groß wie im Normalmodus.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Erfindung ein Übertragungssystem für digitale Daten schafft, das den Vollduplex-Betrieb auf einem instabilen Kanal (wie ihn im besonderen eine Energieversorgungsleitung darstellt) mit großem Wirkungsgrad ermöglicht.

Bezugszeichenliste

- 1 Sender
- 2 Empfänger
- 3 Gabelschaltung
- 4 Echokompensator
- 5 Alarmgeber
- 6 Alarmdetektor
- 7 Kanal
- 8 Datenquelle
- 9, 28 Coder
- 10, 30 Umtaster
- 11a, ..., 11h Filter
- 12, 31 Modulator
- 13, 33 Demodulator
- 15, 34 Signaltaster
- 16a, 16b Signalaufbereiter

| | |
|-----------------------------------------------|----|
| 17, 37 Decoder | |
| 18 Datensenke | |
| 19a/b, 36a/b Schieberegister | |
| 20a, 20b, 20c Fallbackmodusdetektor | |
| 21a, ..., 21d Diskriminator | 5 |
| 22a, ..., 22d, 38 Wahrscheinlichkeitsdetektor | |
| 23 Maximalwertdetektor | |
| 24, 40 Minimalwertdetektor | |
| 25, 26, 41, 42 Quadrierer | |
| 27, 43 Summierer | 10 |
| 29 Transformationsfilter | |
| 32, 35 Schalter | |
| 39 Schwellenwertdetektor | |

Patentansprüche

15

1. Verfahren zur digitalen Datenübertragung, bei welchem in einem Normalmodus digitale Daten mit einer gegebenen Datenrate über einen Kanal mit gegebener Bandbreite im Vollduplex-Betrieb zwischen zwei Stationen mit je einem Sender und einem Empfänger übertragen werden, wobei
 - a) zum Ermöglichen der gleichzeitigen Übertragung eines Alarmsignals im genannten Kanal vom Normalmodus in einen Fallbackmodus umgeschaltet wird,
 - b) welcher Fallbackmodus zur digitalen Datenübertragung nur eine erste Hälfte der gegebenen Bandbreite des Kanals verwendet und eine zweite Hälfte der Bandbreite frei läßt für die Übertragung des Alarmsignals, und wobei der
 - c) Fallbackmodus und Normalmodus mit ihrem jeweiligen Signalformat so aufeinander abgestimmt sind, daß der Sender der einen Station ohne Vorwarnung an den Empfänger der anderen Station zwischen Normal- und Fallbackmodus hin- und herschalten kann und der Empfänger aufgrund der sich unterscheidenden Signalformate ohne Datenverlust dem Hin- und Herschalten des Senders folgen kann.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalformate so aufeinander abgestimmt sind, daß sie zumindest auf dieselbe Art demoduliert werden können und nur allenfalls auf verschiedene Weise decodiert werden müssen.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß
 - a) im Fallbackmodus die digitalen Daten mit höchstens der Hälfte der gegebenen Datenrate übertragen werden und
 - b) ein Empfangssignal zuerst unabhängig vom Signalformat demoduliert und abgetastet wird und dann abhängig vom Signalformat decodiert wird, indem ein Teil der Abtastwerte eliminiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß
 - a) im Normalmodus die digitale Datenübertragung mit einem QAM-Signal mit n-facher Drehsymmetrie und mit der gegebenen Datenrate erfolgt, und
 - b) im Fallbackmodus die digitale Datenübertragung mit dem gleichen QAM-Signal, aber mit höchstens der Hälfte der gegebenen Datenrate auf einem Subträger erfolgt, welcher in einer starren Phasenbeziehung zu einem Taktsignal des QAM-Signals des Normalmodus steht, die n-fache Drehsymmetrie aufrechterhält und ein Spektrum aufweist, welches vollständig in der ersten Hälfte der gegebenen Bandbreite des Kanals liegt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß
 - a) im Normalmodus die digitale Datenübertragung auf einem 16-QAM-Signal mit vierfacher Drehsymmetrie erfolgt und
 - b) im Fallbackmodus die digitale Datenübertragung mit dem gleichen 16-QAM-Signal, aber mit einem Viertel der gegebenen Datenrate auf einem Subträger erfolgt, welcher eine Frequenz entsprechend einem ganzzahligen Vielfachen von einem Viertel einer inversen Symboldauer aufweist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Subträger kleinstmöglicher Frequenz verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfänger zum Erkennen des Fallbackmodus
 - a) das QAM-Signal entsprechend einer gegebenen Symboldauer abtastet,
 - b) das abgetastete QAM-Signal gemäß der Formel

55

$$P(H_i/H_0) = \sum_{k=1}^{4m} x_k, \quad i = 1, \dots, 4 \quad (I)$$

$$(k \bmod 4) \neq (i \bmod 4)$$

60

$$x_k = r_k^2 / [2 \cdot (\sigma_n^2 + \sigma_s^2)] - \min_{l=1, \dots, 4} (r_k - A_l)^2 / (2 \cdot \sigma_n^2), \quad (II)$$

H_0 = Grundhypothese, bezogen auf den Normalmodus,

H_i = dem Pfad i entsprechende Hypothese,

$r_k = s_k + n_k$, (Abtastwert),

$s_k = 3A, A, -A, -3A$,

65

$n_k = N(0, \sigma_n^2)$, (additives weißes Gauß'sches Rauschen mit Varianz σ_n^2)

$H_1: s_i = 3A, A, -A, -3A$, für $i = 1, \dots, 4$

$s_j = N(0, \sigma_s^2)$, für $j \neq i$ (Statistik des Sendesignals im Fallbackmodus mit Varianz σ_s^2),

$A_1 =$ zulässige Werte für die Symbole,

$A_1 = 3A, A_2 = A, A_3 = -A, A_4 = -3A$,

$m =$ vorgegebene ganze Zahl,

$k, i, j, l =$ Indizes, $\min_l =$ Minimum von l Werten, $\text{mod} =$ modulo,

zu vier Hypothesenwahrscheinlichkeiten $P(H_i/H_0)$ auswertet,

c) die Hypothesenwahrscheinlichkeiten mit gegebenen Schwellenwerten vergleicht und

d) den Empfänger auf denjenigen Modus mit der größten Hypothesenwahrscheinlichkeit abstimmt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender nur zu bestimmten, auf einem Datenrahmen abgestimmten Zeitpunkten zwischen Normal- und Fallbackmodus umschaltet, sodaß der Empfänger nur zwei Hypothesenwahrscheinlichkeiten auszuwerten braucht.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die abgetasteten Werte jeweils in Gruppen von vier aufeinanderfolgenden Werten ausgewertet werden und im Fallbackmodus nur derjenige abgetastete Wert weiterverarbeitet wird, welcher mit größter Wahrscheinlichkeit einem Symbol entspricht.

10. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die digitale Datenübertragung

a) im Normalmodus mit einem duobinär codierten PAM-Signal mit der gegebenen Datenrate über einen I- und einen Q-Kanal erfolgt und

b) im Fallbackmodus mit demselben PAM-Signal, aber mit der Hälfte der gegebenen Datenrate erfolgt, indem der Q-Kanal oder I-Kanal ein bezüglich des I-Kanals oder Q-Kanals hilbertransformiertes Signal überträgt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfänger zum Erkennen des Fallbackmodus

a) das PAM-Signal entsprechend einer gegebenen Symboldauer abstastet,

b) das abgetastete PAM-Signal gemäß der Formel

$$P(H_1/H_0) = \sum_{k=1}^m x_k \quad (III)$$

$$(k \bmod 4) \neq (i \bmod 4)$$

$$x_k = r_k^2 / [2 \cdot (\sigma_n^2 + \sigma_s^2)] - \min_{l=1..7} (r_k - A_l)^2 / (2 \cdot \sigma_n^2), \quad (IV)$$

$H_0 =$ Grundhypothese, bezogen auf den Normalmodus,

$H_1 =$ dem Pfad 1 entsprechende Hypothese,

$r_k = s_k + n_k$, (Abtastwert),

$s_k = 6A, 4A, 2A, 0, -2A, -4A, -6A$,

$n_k = N(0, \sigma_n^2)$, (additives weißes Gauß'sches Rauschen mit Varianz σ_n^2)

$H_1: s_l \approx N(0, \sigma_s^2)$, (Statistik des Sendesignals im Fallbackmodus mit Varianz σ_s^2),

$A_1 =$ zulässige Werte für die Symbole,

$A_1 = 6A, A_2 = 4A, A_3 = 2A, A_4 = 0$,

$A_5 = -2A, A_6 = -4A, A_7 = -6A$,

$m =$ vorgegebene ganze Zahl,

$k, l =$ Indizes,

$\min_l =$ Minimum von l Werten, $\text{mod} =$ modulo,

zu einer Hypothesenwahrscheinlichkeit $P(H_1/H_0)$ auswertet,

c) die Hypothesenwahrscheinlichkeit mit gegebenen Schwellenwerten vergleicht und

d) den Empfänger auf denjenigen Modus mit der größten Hypothesenwahrscheinlichkeit abstimmt.

12. Anordnung zur digitalen Datenübertragung über eine elektrische Energieversorgungsleitung, umfassend

a) mindestens zwei für Vollduplex-Betrieb geeignete Stationen und eine als Kanal mit gegebener Bandbreite zwischen den Stationen dienende elektrische Energieversorgungsleitung,

b) in jeder Station mindestens je einen Sender und einen Empfänger zum Übertragen der digitalen Daten und

c) je mindestens einen Alarmgeber zum Übertragen von Alarmsignalen und einen Alarmdetektor zum Empfangen der Alarmsignale, wobei

d) die Stationen fähig sind, die digitalen Daten sowohl im Vollduplex-Betrieb als auch in einem Halbduplex-Betrieb auszutauschen,

e) zum Ermöglichen der gleichzeitigen Übertragung des Alarmsignals im genannten Kanal Mittel vorgesehen sind, um von einem Normalmodus im Vollduplex-Betrieb in einen Fallbackmodus im Halbduplex-Betrieb umzuschalten,

f) der Fallbackmodus zur digitalen Datenübertragung nur eine erste Hälfte der gegebenen Bandbreite des Kanals verwendet und eine zweite Hälfte der Bandbreite frei läßt für die Übertragung des Alarmsignals, und

g) Fallbackmodus und Normalmodus mit ihrem jeweiligen Signalformat so aufeinander abgestimmt sind, daß der Sender der einen Station ohne Vorwarnung an den Empfänger der anderen Station zwischen Normal- und Fallbackmodus hin- und herschalten kann und der Empfänger aufgrund der sich unterscheidenden Signalformate ohne Datenverlust dem Hin- und Herschalten des Senders folgen kann.

13. Anordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfänger

a) einen Demodulator aufweist, welcher ein Empfangssignal unabhängig von Normal- oder Fallbackmodus

demoduliert und

- b) Mittel zum Abtasten des demodulierten Empfangssignals unabhängig von Normal- oder Fallbackmodus,
- c) Mittel zum Detektieren von Normal- oder Fallbackmodus und
- d) Mittel zum Decodieren des abgetasteten Empfangssignals aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

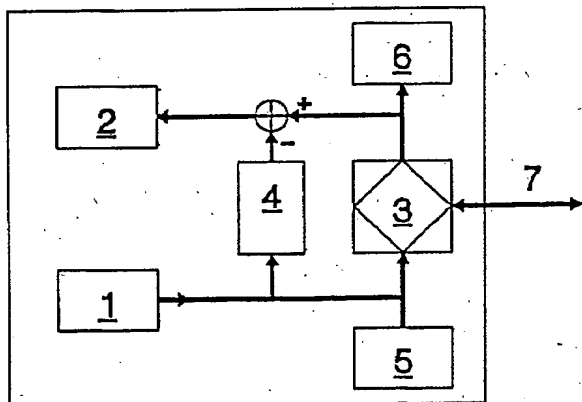


Fig. 1

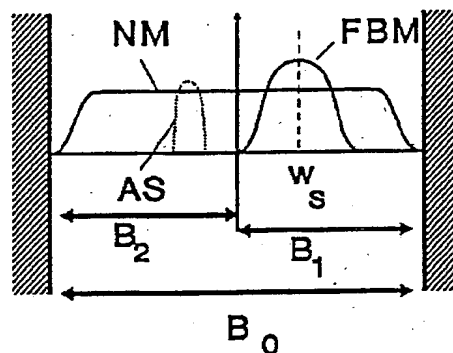


Fig. 2

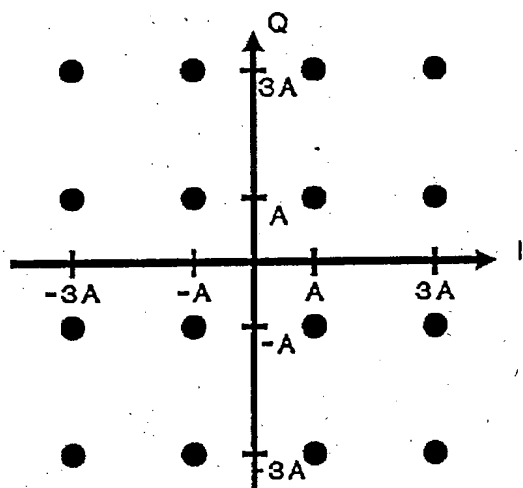


Fig. 3

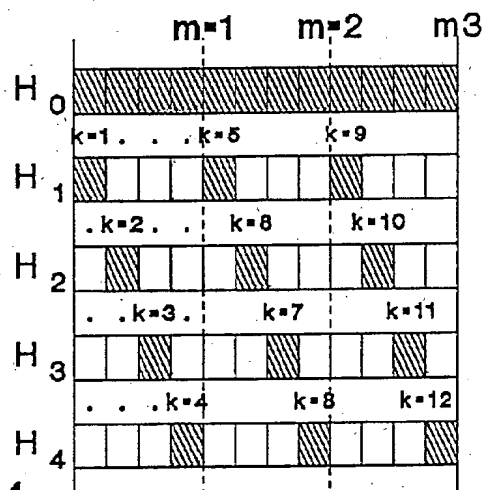


Fig. 4

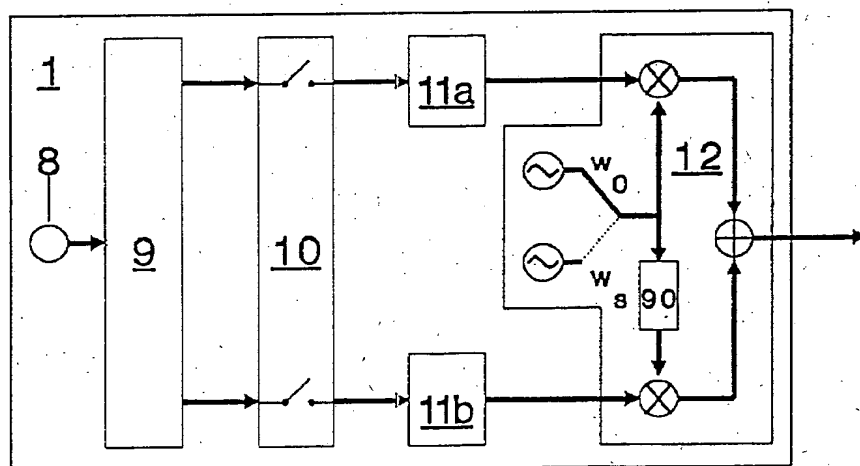


Fig. 5

Fig. 6

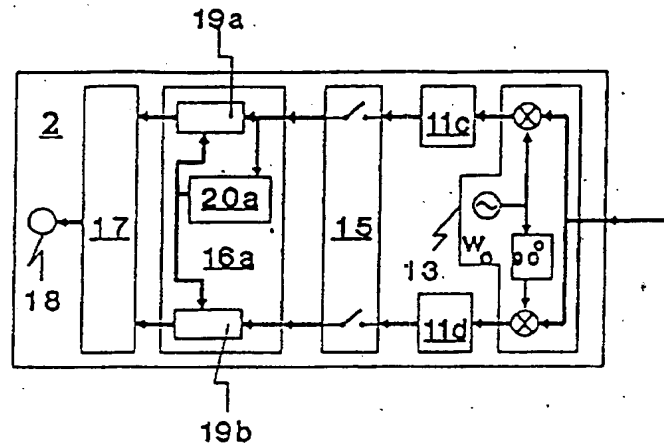


Fig. 7

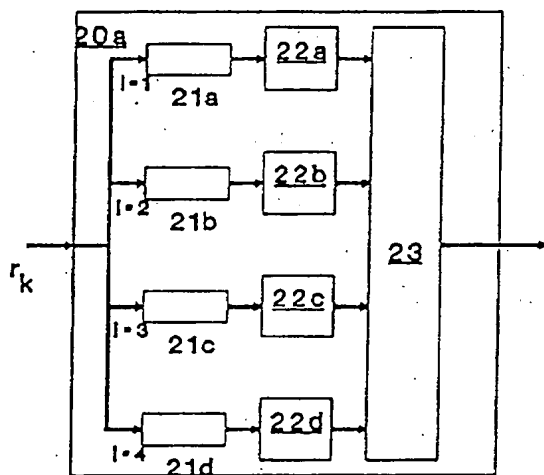


Fig. 8

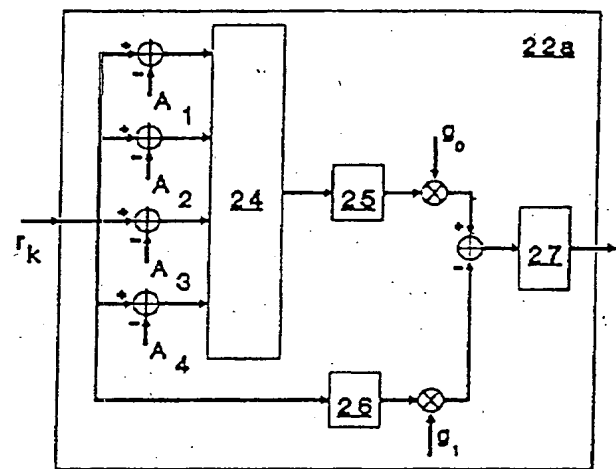
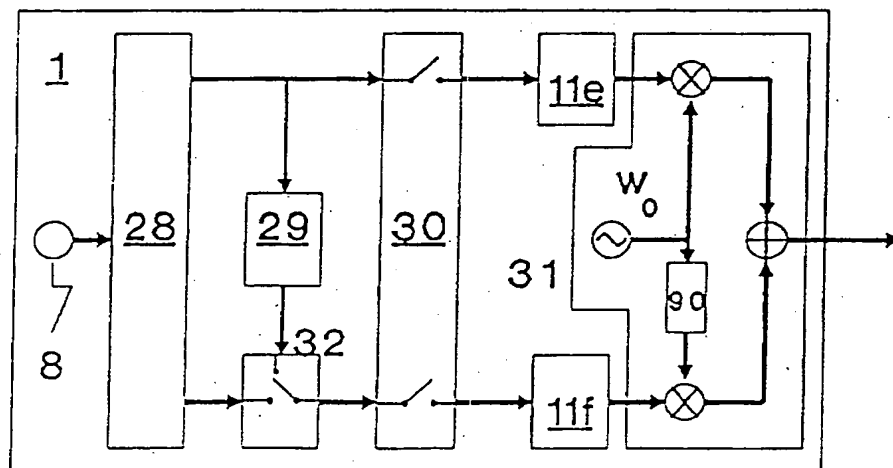


Fig. 9



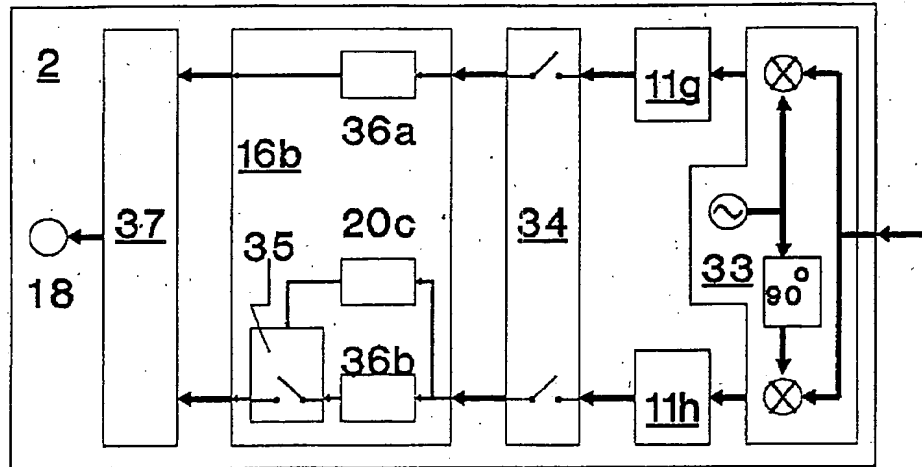


Fig. 10

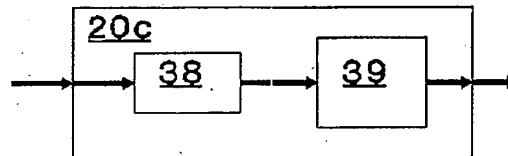


Fig. 11

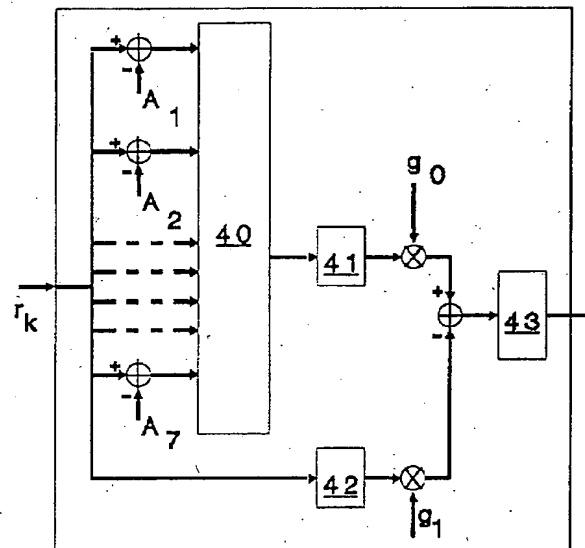


Fig. 12